（第24回地震工学研究発表会講演論文集（1997年7月））

兵庫県南部地震時の浄水施設の被害

榊　信昭[1]・伊藤雅喜[2]・眞柄泰基[3]

[1]正会員　工博　国際水道コンサルタント(株)（〒143 東京都大田区平和島四丁目1-23）
[2]正会員　工修　主任研究官　国立公衆衛生院（〒108 東京都港区白金台四丁目6-1）
[3]正会員　水道工学部長　国立公衆衛生院（〒108 東京都港区白金台四丁目6-1）

兵庫県南部地震時の震源域等にある浄水場の，着水井からろ過池までの池状構造物の被害を調査した。被害と地震動の大きさ，建設時期，基礎地盤，断層などを整理して，池状構造物の耐震性向上への留意点を確認した。主な留意点として地震動の大きさ以外に，建設時期に代表される構造強度，人工地盤の変状，ごく近くに断層があることがあげられた。

Key Words：Hyogoken-Nanbu Earthquake, damages, purification plants, water treatment facilities, reinforced concrete basin

1．はじめに

兵庫県南部地震時の震源域およびその近傍地域にある18カ所の浄水場の，着水井からろ過池までの池状構造物，これらと管路との取合部，水中機械，機器の水没について調査した[1)]。ここでは，これらのうち，池状構造物について被害状況を述べ，被害と地震動の大きさ，建設時期，構造形態，基礎地盤，活断層などとの関係を整理してその耐震性向上に留意すべき点を今回の地震被害からまとめた。

2．調査対象浄水場

地震被害調査（1996年3月5～28日）を行った浄水場は，阪神水道企業団（猪名川，尼崎），神戸市（上ヶ原，千苅，本山，住吉，奥平野），西宮市（鳴尾，武庫川，中新田，鯨池，越水，北山，丸山），芦屋市（奥山，六麓荘，奥池），北淡町（室津）の合計18カ所である。図1には，各浄水場の位置とともに，施設能力，地形，表層地盤，推定加速度，活断層と観測加速度が示されている。推定加速度は，観測値から内挿／補外して，50ｶﾞﾙ単位でおおよその値を推定したものである。

調査対象池状構造物は，越水浄水場の沈澱池・ろ過池（大正12年に建設）の積ブロック構造を除いて，すべて鉄筋コンクリート（RC）造である。基礎形式が杭基礎のものは，猪名川浄水場の着水井～ろ過池〔RC杭（1種）φ300mm 長さL＝7m（昭和33，44年），RC杭（2種）φ500 L＝3，PHC杭（B種）φ500 L＝5，φ350，400 L＝4～8（平成5年）〕，尼崎浄水場のろ過池の一部（松杭φ180 L＝4～5），千苅浄水場の着水井・ろ過池（RC杭φ250 L＝4～6，PC杭φ300 L＝4～6），奥平野浄水場（鋼管杭φ600 L＝15～47）であり，他はすべて直接基礎である。

構造形式が地上式のものは，猪名川浄水場の着水井～沈澱池（昭和38，44年），着水井（平成5年）と，武庫川浄水場の地下式の配水池上にある混和池・ろ過池であり，他はすべて地下／半地下式である。

主な混和池・沈澱池・ろ過池の平面サイズは，武庫川浄水場の混和池84m^2（7m×12m）から上ヶ原浄水場の緩速ろ過池20,800m^2（2600m^{2}扇形8池）の範囲にわたる。他には平面的規模が比較的大きいものは，猪名川浄水場のフロック形成池・沈澱池（144m×94m（7池分）），尼崎浄水場の沈澱池（72m×84m（4池分））である。

3．被害

ここでは，調査結果のうち浄水施設の池状構造物の機能に影響するものとして，漏水を伴うRC等のクラック／破損（段差が生じたり，欠損部のあるもの），構造伸縮目地（以下目地）の損傷，杭基礎の損傷について記述する（表1）これらは池状構造物の躯体の主

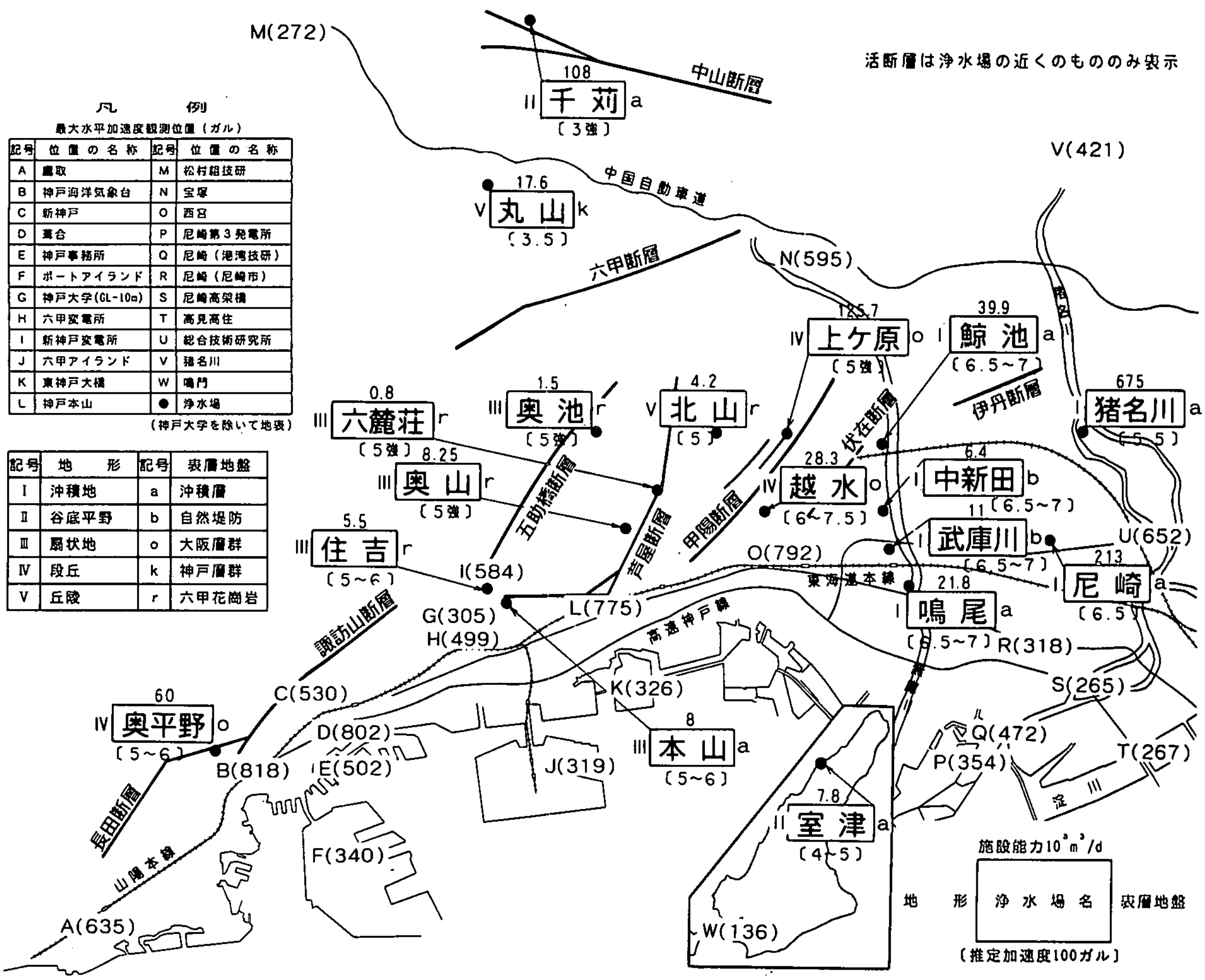

図1　調査対象浄水場

な被害モードである。

猪名川浄水場では，沈澱池の底版にクラックが生じた力所は改造工事中のため，側壁の一部がない状態の所である。主な被害は，フロック形成池と沈澱池の杭の損傷ときわめて多くの目地の損傷であり，それらによって大量の漏水が生じた。

尼崎浄水場では，混和池の側壁がその外壁と構造的に結合した盛土中にある石灰貯留槽の破壊に伴い，破損した。ろ過池の側壁の規模の大きな破損は，その外壁と構造的に結合した，盛土中にある配管用 RC トラフが地盤とともに沈下し，側壁を外側へ引く力が働いて生じたものである。

上ヶ原浄水場の調整池（工業用水の施設）の目地は2池を横断しており，目地のある側壁の一方の地表が傾斜しており，埋込の浅い側が目地に沿って突出して目地が損傷し漏水した。

以上の浄水機能に影響する RC 構造の被害は，ここでの地表面の推定最大水平加速度で 500ｶﾞﾙを超えたところで生じている。

4．考察

(1)猪名川浄水場　池状構造物に被害を受けたところは，採石場の窪地（最大深さ約 10m）を埋め立てた地盤である。この地盤は，推定加速度に基づいて液状化の検討をしたところ，液状化する結果となった[1]。埋立部と池を仕切る護岸の膨らみ出し，地盤の沈下状況より実際に液状化したものと思われる。基礎杭の鉄筋は，400ｶﾞﾙ以上の水平加速度を受けると，降伏し始めることが検討により明らかとなった[1]。これらより，フロック形成池・沈澱池（昭和 38，44 年）の被害は，地盤の液状化・沈下，地上式構造の基礎杭の杭頭への水平力の作用・損傷により，躯体の水平変位の増大→多用された目地の相対変位→大量の漏水というプロセスをたどったものと推定される。これより，被害要因として，①埋土の液状化，②地上式構造，③杭の横抵抗の不足（水平力を考えない設計：1 種杭），④目地の多用があげられる。

同浄水場にある浄水池（地下式），ろ過池（昭和 38年，地盤変状なし，地下式），濃縮槽（平成 5 年，地上式・鋼管杭基礎，液状化／側方移動の徴候が見られる）には被害がなかった。

(2)尼崎浄水場　混和池，沈澱池，ろ過池の周囲は，厚さ 3.85m の盛土が施されている。盛土部で 10～

表1　池状構造物の被害と地盤変状・活断層

浄水場	施　設（建設年）	被害：RC等のクラック／破損(☆)	被害：構造伸縮目地の損傷	被害：基礎杭の損傷	基礎/周囲地盤の変状	活断層
猪名川	フロック形成地（昭和38，44年）		開き12～97mm 流入渠横ずれ	RC φ 300 1種杭約半数円周方向にクラック	埋立地盤液状化，沈下 6～35cm	
	沈澱池（昭和38，44年）	PC桁☆ 底版，阻流壁	開き18～59mm 流入渠は開き17mm	RC φ 300 1種杭約半数円周方向にクラック	埋立地盤液状化，沈下 9～42cm	
	ろ過池（昭和44年）	連絡渠（～消毒池）壁☆			周囲の盛土沈下（ろ過池の大部分は埋立地盤にあり）	
尼　崎	混和池（昭和17年）	流入渠側壁☆ 側壁☆，底版			周囲の盛土沈下10～20cm	
	沈澱池（昭和17年）	流出渠側壁・底版			周囲の盛土沈下，流出渠部13cm，その他20～30cm	
	ろ過池（昭和17年）	側壁☆			地盤（盛土部）沈下約30cm	
上ヶ原	沈澱池（昭和6年）	底版*1	開き約6mm 水平ずれ約10mm		側壁の盛土滑り・沈下（最大80cm，平均45cm）	甲陽断層（浄水場と隣接） リニアメント（浄水場内）
	ろ過池（緩速）（大正6年）	側板，底版 連絡暗渠（導水渠）☆	ほぼ全長損傷			
鳴　尾	調整池*2 沈澱池（昭和57年）		水平ずれ40～60mm 連絡渠（～ろ過池）開き約55mm，水平ずれ40mm，上下50～80mm		液状化の可能性あり（水深1～2mの池の埋立地盤）	
越　水	ろ過池*3(緩速)（大正12年）	側壁☆			周囲の地盤で地割れ・地崩れ	西宮断層（浄水場内神戸大学田中名誉教授による）
奥　山	混和池（昭和13年）	仕切壁☆				
	沈澱池（昭和13年）	側壁☆，底版☆	開き約20mm			
	ろ過池（緩速）（昭和13年）	側壁☆，底版☆（上下に段差を生じる）	ほぼ全長損傷		盛土の滑り・沈下（最大10.8cm）	
六麓荘	ろ過池（緩速）（昭和7年）	側壁隅角部 底版				芦屋断層に近接

＊1　クラックを生じたが漏水しているか否か未確認　＊2　工業用水の施設　＊3　RC構造ではなく積ブロック構造である。

30cm の沈下が生じており，これが躯体の被害に結びついている。また，自然地盤中の混和池の底版にもクラックが生じており，地震動に対して構造強度が不足していたことも考えられる。場内のごく一部で噴砂，人孔の浮き上がり（約 10cm）があったが，対象構造周辺での液状化は確認されていない。

(3)上ヶ原浄水場　沈澱池（昭和6年），緩速ろ過池（大正6年）等は，大阪層群上にあるが，同沈澱池の西側は厚さ 3～10m の盛土に接している。この盛土が滑り・沈下して目地の損傷などが生じている。同ろ過池の周囲では，地盤変状が認められないため，地震動に対して構造強度が不足していたことが考えられる。

半地下式の調整池は周囲地盤が傾斜しており，地盤の横抵抗に差が生じたことが，目地部でズレた原因の一つと考えられる。

浄水場の敷地に隣接して，甲陽断層，場内にリニアメント（活断層の疑いのある地形）が存在し，そのため地震動が増幅された可能性も考えられる。

(4)鳴尾浄水場　沈澱池とろ過池は独立した構造であるが，両者は地上部で二条の連絡渠によってつながっている。この連絡渠を横断している目地が大きくズレた。そのズレの量は，構造と地盤の相対変位（地盤の最大沈下量 3cm）より大きい。地盤は深さ 1～2m の池の埋立地盤であり，地震時に液状化して地盤全体が不等沈下したことが考えられるが，地表部の目視では，液状化の確認はできていない。

(5)越水浄水場　側壁が破損した積ブロック構造の緩速ろ過池のある地盤は，谷状の地形に沖積層・盛土地盤が堆積している。同谷部にある，ろ過池に隣接する地下式の配水池（RC）の底版に全長にわたるクラックが生じ，多量の漏水が生じている。この谷地形に沿って，ニテコ池の方向に断層があると云われている[2)]。谷部に並ぶ大阪層群の段丘上に，ろ過池と同形式の沈澱池があるが，全く被害を受けていない。

(6)奥山浄水場　緩速ろ過池の一部は厚さ 0～6m の盛土上にあり，この盛土が滑り・沈下して躯体破損の被害を受けた。しかし，自然地盤上にある混和池，沈澱池でも躯体に破損，目地に損傷を受けていることから，地震動に対して構造強度が不足していたことも考えられる。

(7)六麓荘浄水場　クラックを生じた緩速ろ過池は，芦屋断層に近接している。周囲には地盤変状が認められなかったことから，地震動に対して構造強度が不足していたものと考えられる。

これら以外の浄水場においては，池状構造に RC の躯体，目地，基礎杭に被害を受けたものはなかったが，その要因として，地震動の大きさ以外につぎのものがあげられる。①大きな地盤変状がない，②構造が小型で，目地がないか少ない，③地下式／半地下式構造である，④基礎が直接基礎／鋼管杭基礎である，⑤建設時期が新しい。

対象池状構造物を各浄水場について，建設年，地盤条件と被害の関係について図2に示す。同図において建設年を水道施設の耐震指針の定められる以前（昭和

28 年以前），耐震指針 3)において標準設計震度が「0.1 以下にとってはならない」とされた時期（昭和 29～54 年）と「0.2 を下回らない値」とされた昭和 55 年以降に分けて示している。

猪名川浄水場と目地のみの損傷を受けた鳴尾浄水場を除いて，被害の生じているのは，指針が出る前の昭和 28 年以前，正確には尼崎浄水場の昭和 17 年（戦前）以前に建設されたものである。

昭和 29～54 年に建設されて被害を受けたのは，猪名川浄水場の他にも本調査の対象外であるが，沈澱池の目地の損傷，ろ過池の圧力室のクラックの被害（昭和 31 年に建設）が報告されている 4)。

以上より，耐震性の向上のため，既存施設で留意すべき点は地震動の大きさ以外につぎのものがあげられる。①昭和 28 年以前に建設されたものの構造強度，②昭和 29～54 年に建設されたものの構造形式/構造強度，③地盤の液状化，盛土（底版下／底版・側壁に接している）の滑り・沈下の可能性のあるところ，④活断層上または近接しているところ。

5．まとめ

兵庫県南部地震時の浄水場の池状構造物の被害調査結果より，既設のものの耐震性の向上に留意すべき点として，地震動の他に建設年，構造形式，地盤変状の可能性，活断層の存在があげられた。これらの要因は，精査されたものではないが，一般的にいわれている点が再確認されたものとなっている。今後検討すべき課題として，的確な地震動の推定，構造強度の定量的な評価，盛土－自然地盤の地盤の変状や液状化の適切な評価，活断層と被害の関係の精査があげられる。

建設年	自然地盤	埋立地盤 *2		盛土地盤	自然地盤
	液状化なし	液状化あり	液状化なし	*3	活断層 *4
昭和 28 年以前	上ヶ原 ● 越 水 六麓荘 ● 奥 山 ● 尼 崎 ● 本 山 住 吉			上ヶ原 ● 奥 山 ● 尼 崎 ●	上ヶ原 ● 越 水 ● 六麓荘 ● 本 山 *6
昭和 29 年～昭和 54 年		猪名川 ●*1			
	住吉 越水 千刈 鯨池 北山 望津 奥池 丸山 中新田 武庫川				
昭和 55 年以降	鯨池 北山 奥平野 鳴尾 猪名川	鳴尾○*5			奥平野

● 躯体のクラック・破損と目地の損傷　○ 目地の損傷のあったもの

*1 地上式の構造で，かつ横抵抗が考慮されていない杭基礎をもつ

*2 底版下の一部またはすべてが埋立地盤であるもの

*3 底版下または底版に接して一部またはすべてが盛土地盤であるもの

*4 構造物直下またはごく近くに断層があるもの

*5 液状化した可能性があるが，液状化の確認ができていない

*6 断層変位地形に接する洗浄水槽，石積，埋設管路に被害あり

注）混和池～ろ過池で建設時期のことなるもの，構造の異なるものは複数の範囲に記してある。

図２　池状構造物の建設年，地盤条件と被害

参考文献

1) 榊，伊藤，眞柄，兵庫県南部地震時の浄水施設の被害と原因の考察，水道協会雑誌　第 60 巻第 1 号，pp35～53，1997。

2) 田中眞悟　神戸大学名誉教授からの聞き取りによる。(H8.5.28)

3) 日本水道協会，水道施設の耐震工法，昭和 28 年 10 月，水道施設の耐震工法指針・同解説，昭和 54 年 10 月。

4) (社)日本水道協会，厚生省国立公衆衛生院委託研究，平成 7 年阪神・淡路大震災被害に関する技術評価報告書，pp8，平成 7 年 3 月。